HAKKO 熱のコンテスト　最終報告書

所属：秋田大学 理工学部　システムデザイン工学科
創造生産工学コース　足立研究室
メンバー：
高橋　祐篤，佐藤　靖憲，高橋　賢司　（足立研究室チーム）
実験タイトル：アルミ網と IoT を用いて道路融雪を効率的にやろう！

寒冷地において，ロードヒーティングは車両の安全走行，歩行者の安全確保を目的として広く使用されている．一方で，積雪・凍結を解消するためには連続して運転する必要があり，多くの電力を消費するため，ランニングコストが高く財政を圧迫する要因となっており，これを解決することは重要な課題である．ランニングコストを低減させるためにはアスファルト表面において熱流束を均一化し，効率よく融雪する必要がある．そこで，電熱線方式の融雪用ロードヒーティングにアルミ合金エキスパンションメタル(金属網)を組み合わせることで水平方向に熱が伝わり熱流束の均一化がなされるのではないかと考え，アルミ合金エキスパンションメタル併用型ヒーター（以下 A 型）と通常のロードヒーティング（以下 B 型）の熱の移動を比較することによりその効果を検証した．図 1 にアルミ合金エキスパンションメタル併用型ヒーター内部，図 2 に実験装置の断面図をそれぞれ示す．

実験では図 2 に示されている様に実験装置内部に熱電対を 9 個設置し，内部のヒーターに電力 P を 5 時間程度加える事で装置内部の温度の時間変位を測定した．図 3 に内部温度の時間変位の例を示す．これは B 型実験装置に P=15W の電力を加えた時の図である．実際に熱流束の均一化がなされているかを検証するため，融雪面に伝わる熱流束を，図 2 に示されるヒーター線上にある A 列と C 列の場合と，ヒーター線間にある B 列の場合のそれぞれに分けて求めた．計算においてフーリエの法則から以下の式

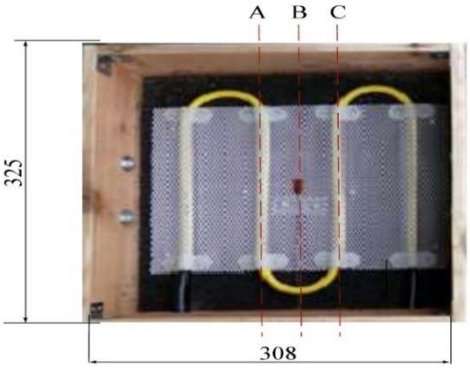

図 1　アルミ合金エキスパンションメタル併用型ヒーター内部

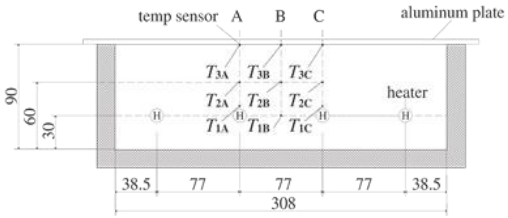

図 2　テストセクション断面図

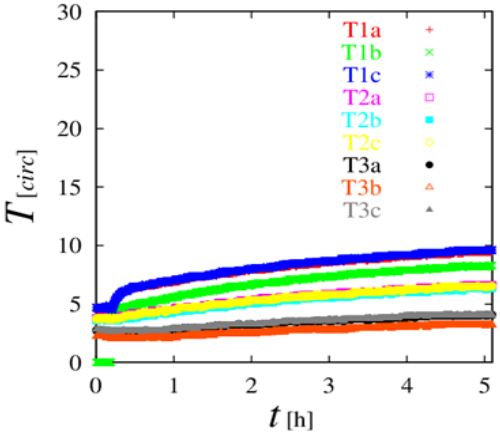

図 3　P=15W における内部温度の時間変位

$$q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z}$$

を用いる．ここで，鉛直方向の温度勾配を鉛直方向に並べた各 3 本の熱電対による内部温度から最小自乗近似を用いて線形近似することにより求めた．図 4，図 5 に B 型，A 型実験装置の P =15W における熱流束の時間変位を示す．図のq_{side}はヒーター線上の位置の熱流束，q_{center}はヒーター線間の熱流束を表している．A 型・B 型でそれぞれ比較すると，A 型の方が線間と線上での熱流束の値の差が小さくなっており，金属網による熱流束の均一化の効果が確認できる．

実際の融雪の様子を確認するため，箱型の内部に積雪を摸擬した細かい氷を入れ，上部に置いてヒーターに電力を加えて経過を撮影した．ヒーターに電力を加える時間は 2 時間とする．図 6 (a)~(c)に実験中の画像を示す．

図 6 (a)は実験開始直後の画像である．(b)，(c)を確認すると，氷は時間とともにほぼ均一に融雪されている．B 型実験装置において，ヒーターの線上と線間では線上の方が熱が伝わりやすく，一方で線間では伝わりにくいと予想されるが，画像からはヒーター線上と線間での融雪の差は確認できない．これの原因としては，実験開始後はヒーターの線上にあたる部分が先に融雪され，氷が融けて水が生じて水平方向に広がり，ヒーターの線間の部分まで水が広がることとなり，結果として全体に広がった水を温めることで，水平方向にも熱が伝わり，結果として均一に融雪がなされたと考えられる．図 7(a)~(c)に A 型の融雪実験の画像を示す．

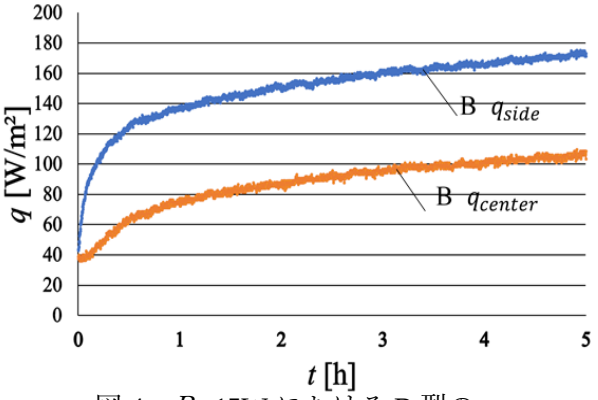

図 4　P=15W における B 型の熱流束の時間変位

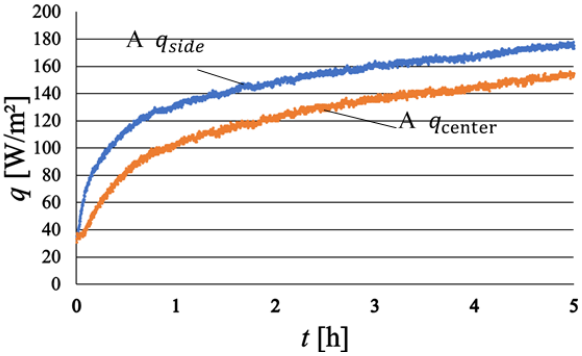

図 5　P=15W における A 型の熱流束の時間変位

図 6.(a) B 型融雪実験　開始直後の様子

(b)　B 型融雪実験　1 時間経過

時間経過とともに凡そ均一に熱が伝わっていることが分かる．A 型と B 型をそれぞれ比較すると，B 型の方が融雪が進んでいる様に見える．これは B 型の場合はヒーター線上で融雪されて水が先んじて生じるためと予想される．実際のフィールドでは箱型実験装置の様に鉛直方向に仕切りは存在しないため，この画像だけでは実際の融雪の様子は判断できない．

また，機械学習を用いた融雪のシステムについて考える．雪が降っていて融雪が必要な場合は 0，雪が止みそうで融雪を中止する場合は 1，これから雪が降りそうで融雪を開始する場合は 1 と設定し，機会学習を行うことで，画像を認識してその時々の天候を判別することができると予想される．

実験の結果，アルミ合金エキスパンションメタル併用型ヒーターの効果を検証することは出来なかった．当初の予定では，A 型実験装置には熱流束の均一化の効果を期待しており，さらに機会学習を用いた降雪の判別と組み合わせることで，天候に応じて運転を切り替える効率的な融雪システムを提案することが出来ると予想していた．このシステムは必要な分のみ運転を行うことで，ランニングコストをさらに低減することが可能であり，今後の融雪制御システムの発展においても同様に IoT や AI を用いた新たなシステムの開発が課題となると予想される．

(c)　B 型融雪実験　2 時間経過

図 7.(a)　A 型融雪実験　開始直後の様子

(b)　A 型融雪実験　1 時間経過

(c)　A 型融雪実験　2 時間経過